中華農業研究(J. Agric. Res. China) 52:153~165 (2003)

利用紅外線熱像技術遙測缺水對水稻(臺農 67 號)植被垂直剖面輻射溫度之影響 [1]

楊純明 [2,3]

摘　要

楊純明。2003。利用紅外線熱像技術遙測缺水對水稻(臺農 67 號)植被垂直剖面輻射溫度之影響。中華農業研究 52:153-165。

本項研究分析位於臺中縣霧峰鄉行政院農委會農業試驗所農場試區之 1998 年一、二期稻作，經土壤缺水處理水稻(*Oryza sativa* L. cv. TNG 67)植被之垂直剖面二維熱紅外線輻射溫度影像資料，以探討土壤水分潛勢下降對植被垂直剖面不同高度輻射溫度之作用，並比較對植被溫度與氣溫或地表輻射溫度差異之改變。根據熱像資料分析結果，發現水稻植被輻射溫度受到外界環境影響，且土壤缺水將造成植被輻溫度的上升。將植被垂直剖面自地面起至最上臨界空氣表層均分成十等份(層)，各層溫度皆顯示土壤缺水引起溫度上升的現象，兩期稻作皆然，且愈近地面缺水引起增溫效果愈大。又在本試驗環境的正常土壤水分狀態下，植被溫度通常低於氣溫及地溫，當土壤水分潛勢(Ψsoil)下降至約-0.25 MPa 時，近地面植被層輻射溫度將大於氣溫，當 Ψsoil 下降至約-0.75 MPa 時，最上表層植被輻射溫度將大於氣溫。近地面植被層輻射溫度約在 Ψsoil 低於-0.20 MPa 時高於地溫，最上表層植被溫度則在 Ψsoil 低於-1.50 MPa 時高於地溫。在 Ψsoil 高於-0.04 MPa 時，植被剖面各不等垂直高度的輻射溫度相近，當缺水使 Ψsoil 低於-0.04 MPa 時，植被垂直剖面即呈現愈近地面輻射溫度愈高之趨勢，一、二期稻作結果雷同。

關鍵詞：遙測、水稻植被垂直剖面、輻射溫度、土壤缺水、紅外線熱像技術。

前　言

自 1970 年代以來遙測科技發展十分迅速，軟硬體均有長足進步，也被普遍應用在多元產業層面。目前農業生產過程中的生理現象、生育進展、逆境評估及自然資源經營管理等，皆已採行不同類型的遙測技術輔助，助益於生產流程效率改進及效能提升。無論係近地面、機載或空載遙測平台，光譜遙測技術主要在於量測太陽光輻射的反射光譜，藉由對特定光譜波段的分析以萃取出所需光譜資訊，達到擷取被測物現行狀態資料的目的，俾進行下一步對應處置。通常在構建一遙測系統以為應用之前，都需要實施近地面偵測，建立地真(ground truth)資料庫為作業基礎(Idso *et al.* 1977)。

1. 行政院農委會農業試驗所研究報告第 2159 號。接受日期：92 年 4 月 24 日。
2. 本所農藝組研究員。臺灣省　臺中縣　霧峰鄉。
3. 通訊作者，電子郵件：cmyang@wufeng.tari.gov.tw；傳眞機：(04)23396057。

紅外線熱像技術(infrared thermal imagery)或稱熱紅外線影像技術(thermal infrared imaging technique)爲遙測技術之一種，係用以偵測被測物二維空間的紅外線輻射溫度，並可藉由電腦虛擬顏色描繪出被測物的熱溫影像。Inoue(1990)曾藉由紅外線熱像技術探討作物生理狀態，且據以區分逆境造成之差異。蘇&楊(1998)利用紅外線熱像技術檢測水稻生育期間之植被(冠)溫度的變化，並繪出氣溫對植被溫度之效應及對氣溫與植被溫度之溫差的影響。Yang(1998)則進一步闡述水稻植被溫度之季節變化，顯示紅外線熱像技術爲追蹤作物植被溫度升降之可靠物理性方式。Yang *et al.* (2000)亦曾利用紅外線熱像技術近地面遙測盤固草的植被輻射溫度，比較及追蹤盤固草生長季節內的溫度改變，另指出土壤背景效應對未完成覆蓋植被溫度量測之干擾。

水，雖然是地表上最普遍而大量存在的資源，卻也是限制農業生產的主要物質。一般言之，農作物由根系吸收土壤水分，以蒸散作用機制將水分經由莖桿至葉片散失。在水分蒸散傳導過程中，植體各部位自外界光輻射吸收的熱能得以交換，將水分子以蒸汽型式逸釋至大氣，使得過高植被溫度散失而降溫，維持適當的植被溫度進行各項生理活性(Gates 1964)。尤其在停滯的週遭空氣層及低風速的狀況下，蒸散作用的散熱功能更是葉部維持合適溫度的主要機能，因爲此時植體內外的蒸汽壓差將微不足道，難以將過高的植被溫度散失(Gates 1964)。因此，葉溫或植被溫度成爲顯示作物生理狀況及對環境反應的良好指標，彰顯環境因子如光輻射、氣溫、氣流運動及可利用水分的狀態和動態(Tanner 1963; Gates 1969)。

吾人可利用紅外線熱像技術呈現農作物植被的二維空間輻射溫度狀況與變異，亦可加以追蹤其時空變化(Inoue 1986; Yang 1998)。如此，將可以快速、不間斷而非破壞性的偵檢農作物族群生理狀況，評估環境的影響，獲得全面現況資訊，達到早期警示與及早採行因應對策的功效。舉例而言，一般採行之形態改變(如葉片捲縮指數、葉色)及生理性狀(如氣孔導度、光合作用、蒸散作用、葉片水分潛勢)評估植體水分狀態，常有取樣數過少而誤差過大缺點，且有耗力費時緩不濟急情事(Meyer *et al.* 1985; O'Toole *et al.* 1984)。若改採紅外線熱像技術，則前述缺失將迎刃而解，取得族群植被水分狀態完整資料(Idso *et al.* 1981; Jackson *et al.* 1981; O'Toole *et al.* 1984; Pinter Jr. *et al.* 1979)。

本文研究乃以水稻植被之垂直剖面二維熱紅外線溫度影像資料，探究土壤水分潛勢下降對植被剖面不同高度輻射溫度之作用，比較缺水對植被溫度與氣溫或地表輻射溫之溫差影響，並討論其生理意義。

材料及方法

本項田間試驗係在臺中縣霧峰鄉行政院農委會農業試驗所農場(24°02'N, 120°42'E,海拔高度 85 m)進行，包括 1998 年一期作及二期作。參試水稻品種臺農 67 號以南北向插植於壤質土壤試區，酸鹼值 5.30，行株距 0.3 m x 0.15 m，稻株密度約 220,000 hill ha^{-1}。栽培管理採行慣用法，插秧時以臺肥 39 號複合肥料(顆粒，$N:P_2O_5:K_2O$=12%:18%: 12%，臺灣肥料公司，高雄市)400 kg ha^{-1} 爲基肥，插秧後 3-4 週施用硫銨(21%顆粒)200 kg ha^{-1} 爲追肥，抽穗前 2-3 週施用尿素(46%顆粒) 100 kg ha^{-1} 爲穗肥。又以除草劑 butachlor-benthiocar (8%顆粒) 30 kg ha^{-1} 用量施用於插秧後一週內，並於施用追肥前實施人工除草一次。另以 triphenyltin acetate (2%顆粒) 15-20 kg ha^{-1} 防除福壽螺。

1998 年一期作在 5 月 1 日(穗形成期)進行停灌處理，分別於 5 月 12 日及 14 日兩天偵測水稻植被之垂直剖面輻射溫度。其中 5 月 12 日有對照區(CK)、-0.23 MPa 及-0.50 MPa 等三種土壤水分潛勢等級，5 月 14 日有 CK、-0.22 MPa、-0.25 MPa 及-0.55 MPa 等四種土壤水分潛勢等級。5 月 15 日上午將停灌處理區恢復灌水，5 月 16 日再偵測水稻植被之垂直剖面輻射溫度，計有 CK、-0.02 MPa、-0.02 MPa 及-0.03 MPa 等四種等級。1998 年二期作則在 9 月 22 日進行停灌處理，另於 10 月 7 日選擇二區恢復灌溉，分別於 10 月 2 日及 8 日兩天偵測水稻植被之垂直剖面輻射溫度。10 月 2 日時計有 CK、-0.25 MPa、

-0.80 MPa 及-1.50MPa 等四種等級，10 月 8 日則有 CK、-0.04 MPa、-0.18 MPa、-0.35 MPa 及-0.15 MPa 等五種等級。每期作皆設置對照區，採行正常灌溉區，維持飽合土壤水分含量以上。缺水處理區埋設阻力式石膏塊(soilmoisture blocks #5201, Soilmoisture Equipment Corp., Santa Barbara, CA, USA)，距土表深度 0.20 m, 以阻力測計(model-5910A, Soilmoisture Meter, Soilmoisture Equipment Corp., Santa Barbara, CA, USA)讀值換算水分潛勢測值。

水稻植被垂直剖面之輻射溫度係以熱紅外線影像輻射儀(thermal infrared imaging radiometer, 8-12μm, model-760, Inframetrics Inc., Massachusetts, USA)量測(參見蘇&楊 1998; Yang 1998; Yang *et al.* 2000)，於近午時刻(11:00-12:00 LST)晴朗時段攝取植被熱像(自地表至臨界大氣表層之植被垂直剖面)。量測前刈除試區 2-3 邊行稻株，以接近水平角度自約 30 度側向使成連續平面攝取植被垂直剖面熱像(thermograms)，每一土壤水分等級自不同位置攝取三張重覆熱像(各張時間間隔小於 1 min)，每張熱像約涵蓋稻株 3-4 叢。將每一張熱像計算平均輻射溫度(T_{canopy})，又將每張熱像自地表起至臨界大氣垂直剖面均分為 10 區間，分別計算各區間平均輻射溫度及全剖面平均溫度，再由三重覆值計算均值及標準差。由於每張熱像中均涵蓋部分地表，地溫(T_{ground})即由此萃取及計算。熱像資料由 ThermaGRAM 軟體 (Thermoteknix System Ltd., Cambridge, England)進行分析，將輻射值轉換成溫度值，並計算區間輻射溫度測值。氣溫與植被輻射溫度之溫差($T_{air-canopy}$)及地溫與植被輻射溫度之溫差($T_{ground-canopy}$)，均由上述相對應測值計算。本試驗量測植被輻射溫度期間，風速小於 2 m s^{-1}，相對濕度 50-75%。

本項熱紅外線影像輻射儀精確度達 0.05℃，敏感度達 0.1℃，系統包括 1X 標準光電掃描鏡頭、輻射儀本體、連接光纖電纜及 12 V 可充電電池。掃描鏡頭具有 15° FOV (field of view)垂直視角及 20° FOV 水平視角，瞬間視角(IFOV) 為 2 milliradians (mr)。因此，每一視窗(frame)具有 175 個水平紅外線熱點(horizontal infrared elements)及 131 條垂直像線(infrared vertical lines)，取樣率則為每像線 256 像元(pixels per line)及 131 像線，每張熱像總計超過 33,536 像元(ThermaGRAM User Manual, 1995)。為簡化量測流程，將放射率(emissivity)設於 0.98，入射光輻射穿透率(external optics transmission)設為 1，溫度範圍定為 10ºC。背景溫度同氣溫(T_{air})，於量測植被溫度時測定並輸入，由熱紅外線影像輻射儀偵測皺摺鋁箔輻射溫度代表之。輻射儀由 Inframetrics 公司以不同溫度標準黑體校正，於常態型(Normal Mode)之測溫範圍為-20ºC 至 400ºC。所攝取之熱像資料，可即時儲存於 3.5"之 1.44 MB 光學磁片，隨時抽換使用。

結　　果

由 1998 年一、二期稻作土壤缺水處理之田間試驗資料，發現水稻族群植被垂直剖面之平均熱紅外線輻射溫度隨著土壤水分潛勢的下降而升高(圖 1)，顯示缺水將提高水稻植被溫度，而且在一、二期稻作有類似表現。又在相同土壤水分潛勢等級，變異幅度可達 28%。

比較水稻植被垂直剖面不等高度層之溫度變化，發現無論何種植被垂直高度層之輻射溫度，皆因土壤缺水影響而升高溫度，愈近地表則溫度愈高(圖 2)，兩期作表現雷同。在土壤水分潛勢高於-0.04 MPa 時，水稻植被垂直剖面不同高度層間之輻射溫度幾無顯著差異(圖 3A 及 3B)。當土壤水分潛勢低於此值時，將同時提高各不同高度植被層的溫度。

在本項試驗之正常水分狀態下，兩期作水稻植被溫度通常低於週遭氣溫，使得氣溫與植被溫度間之溫差維持正值(圖 4)。當土壤水分潛勢(Ψsoil)下降至約-0.25 MPa 時，近地面植被層輻射溫度將大於氣溫，而當 Ψsoil 下降至約-0.75 MPa 時，最上表層植被輻射溫度將大於氣溫。

水稻植被溫度與地溫的關係繪於圖 5，近似於前項，在氣溫約低於 35ºC 以下，正常水分狀態下植被溫度多低於地表溫度，尤以距離地面最上層為然。約在 Ψsoil 低於-0.20 MPa 時，近地面植被層之輻射溫度將高於地溫，在 Ψsoil 低於-1.50 MPa 時，最上植被層溫度則將高於地溫。

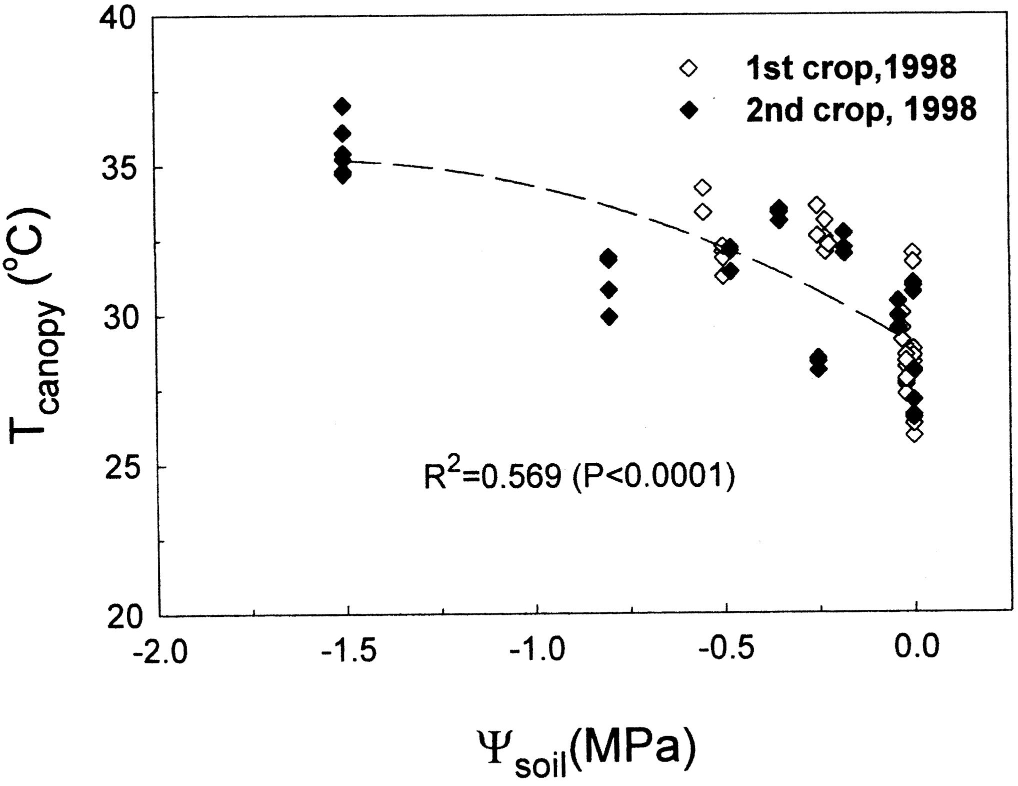

圖 1. 1998 年一、二期稻作之田間試驗水稻(*Oryza sativa* L. cv. TNG 67)植被垂直剖面之平均輻射溫度隨土壤水分潛勢之變化。.

Figure 1. Changes of canopy vertical profile mean radiant temperature in response to soil water potential for rice plants (*Oryza sativa* L. cv. TNG 67) grown in the first and the second cropping seasons of 1998.

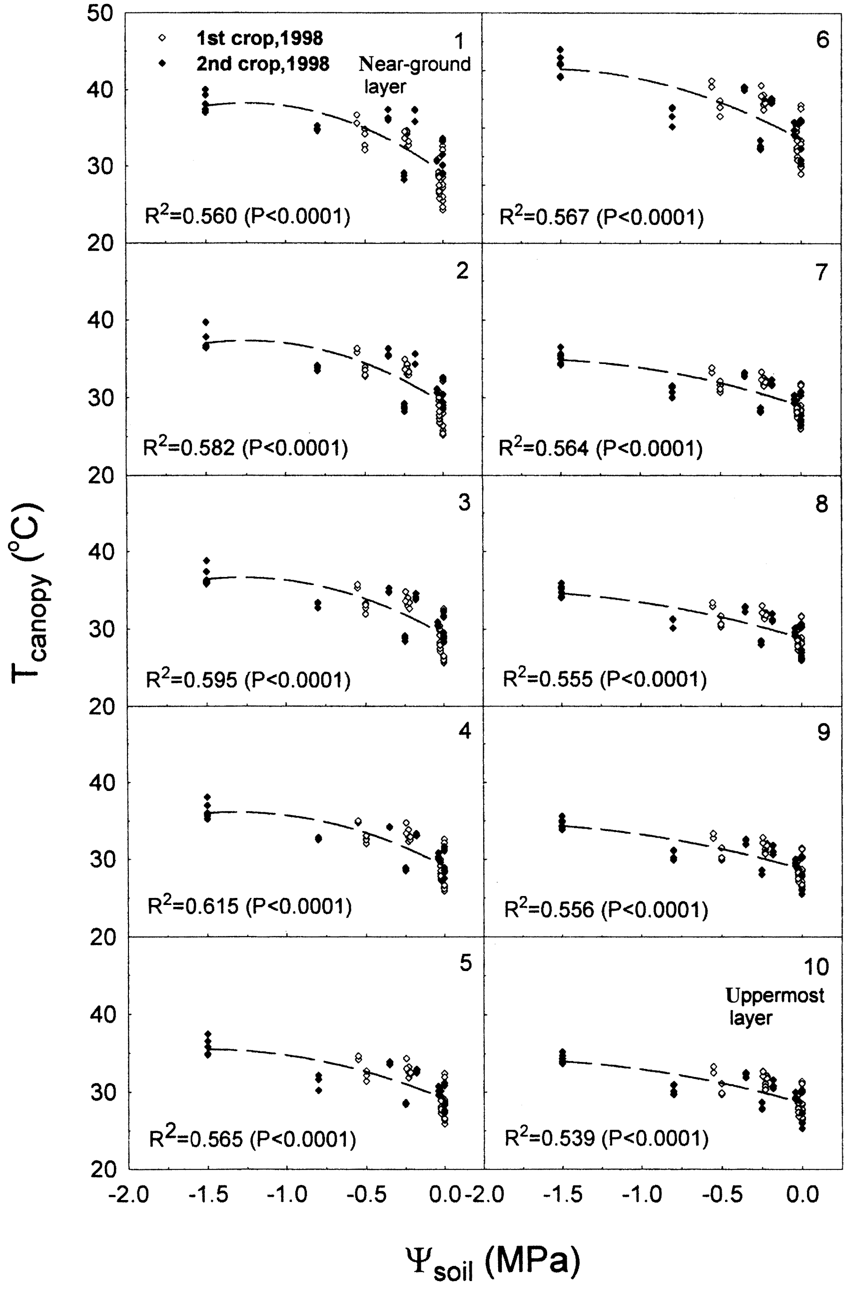

圖 2. 1998 年一、二期稻作之田間試驗水稻(*Oryza sativa* L. cv. TNG 67)植被垂直剖面不同高度層之平均輻射溫度隨土壤水分潛勢之變化。

Figure 2. Changes of mean radiant temperatures calculated from different canopy vertical layers in response to soil water potential for rice plants (*Oryza sativa* L. cv. TNG 67) grown in the first and the second cropping seasons of 1998.

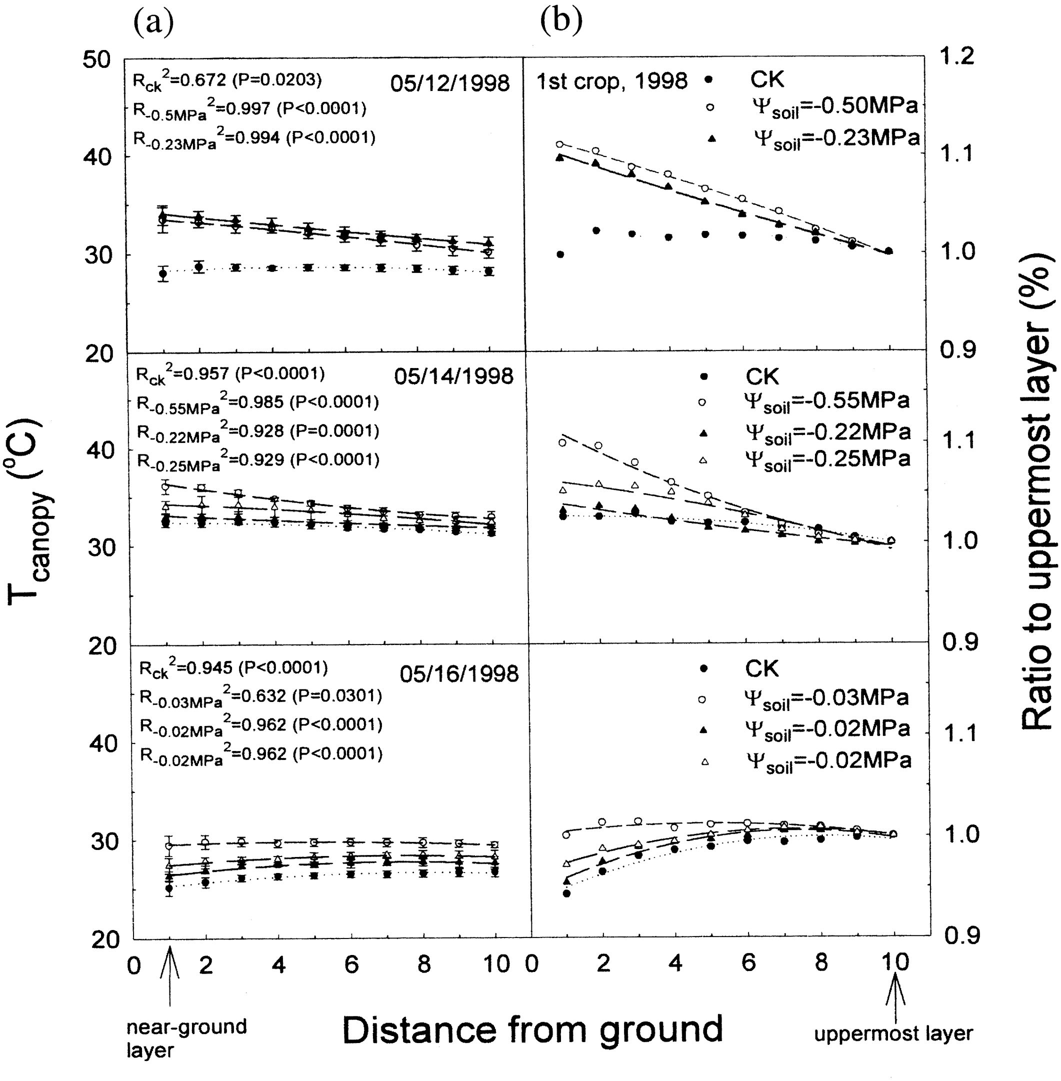

圖 3A. (a)1998 年一期稻作之田間試驗水稻(*Oryza sativa* L. cv. TNG 67)植被垂直剖面不同高度層之平均輻射溫度及(b)其與最上位臨界空氣植被層平均輻射溫度之比值在不等土壤水分潛勢之變化。

Figure 3A. (a)Changes of mean radiant temperatures calculated from different canopy vertical layers and (b)ratios of mean radiant temperatures from different canopy vertical layers to mean radiant temperature of the uppermost layer at varied soil water potentials for rice plants (*Oryza sativa* L. cv. TNG 67) grown in the first cropping season of 1998.

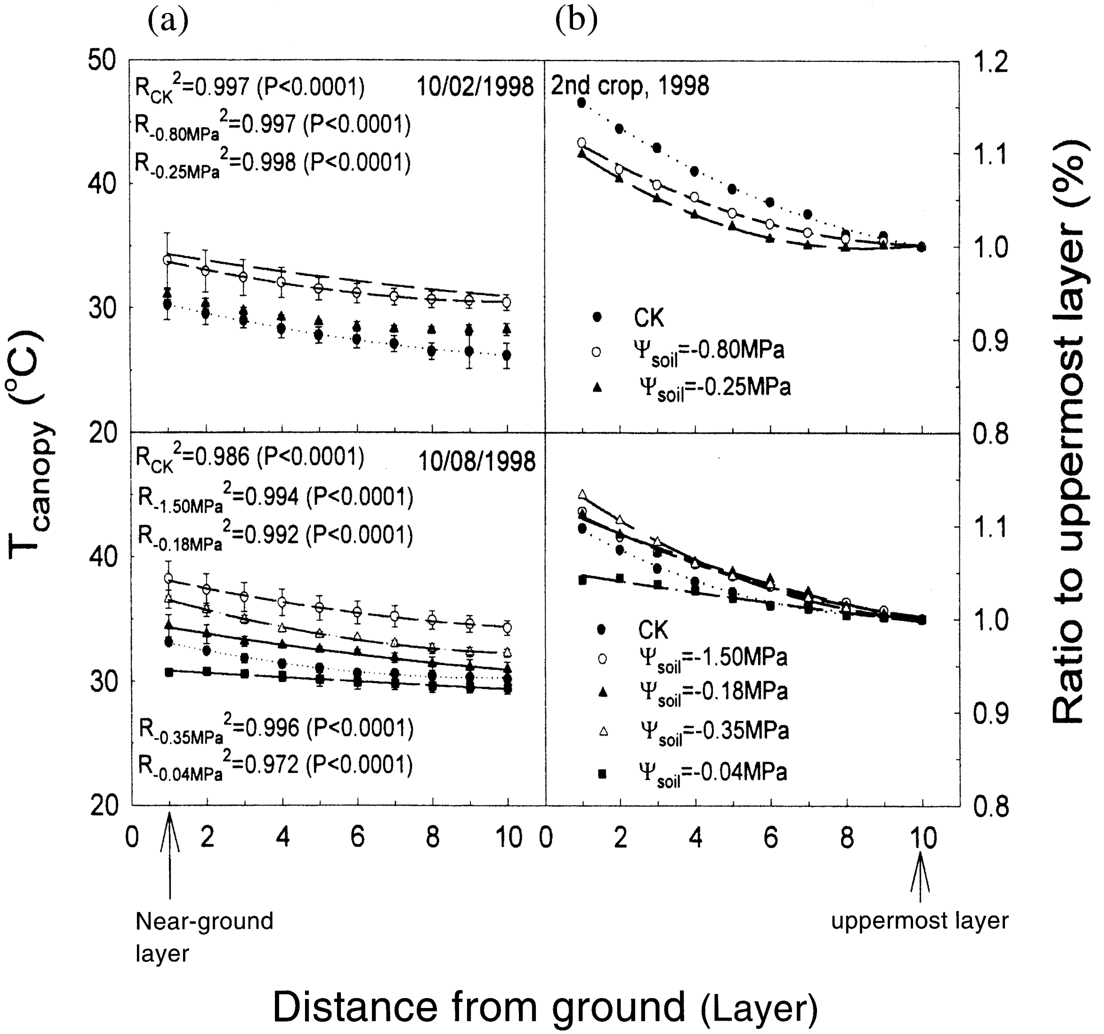

圖 3B. (a)1998 年二期稻作之田間試驗水稻(*Oryza sativa* L. cv. TNG 67)植被垂直剖面不同高度層之平均輻射溫度及(b)其與最上位臨界空氣植被層平均輻射溫度之比值在不等土壤水分潛勢之變化。

Figure 3B. (a)Changes of mean radiant temperatures calculated from different canopy vertical layers and (b)ratios of mean radiant temperatures from different canopy vertical layers to mean radiant temperature of the uppermost layer at varied soil water potentials for rice plants (*Oryza sativa* L. cv. TNG 67) grown in the second cropping season of 1998.

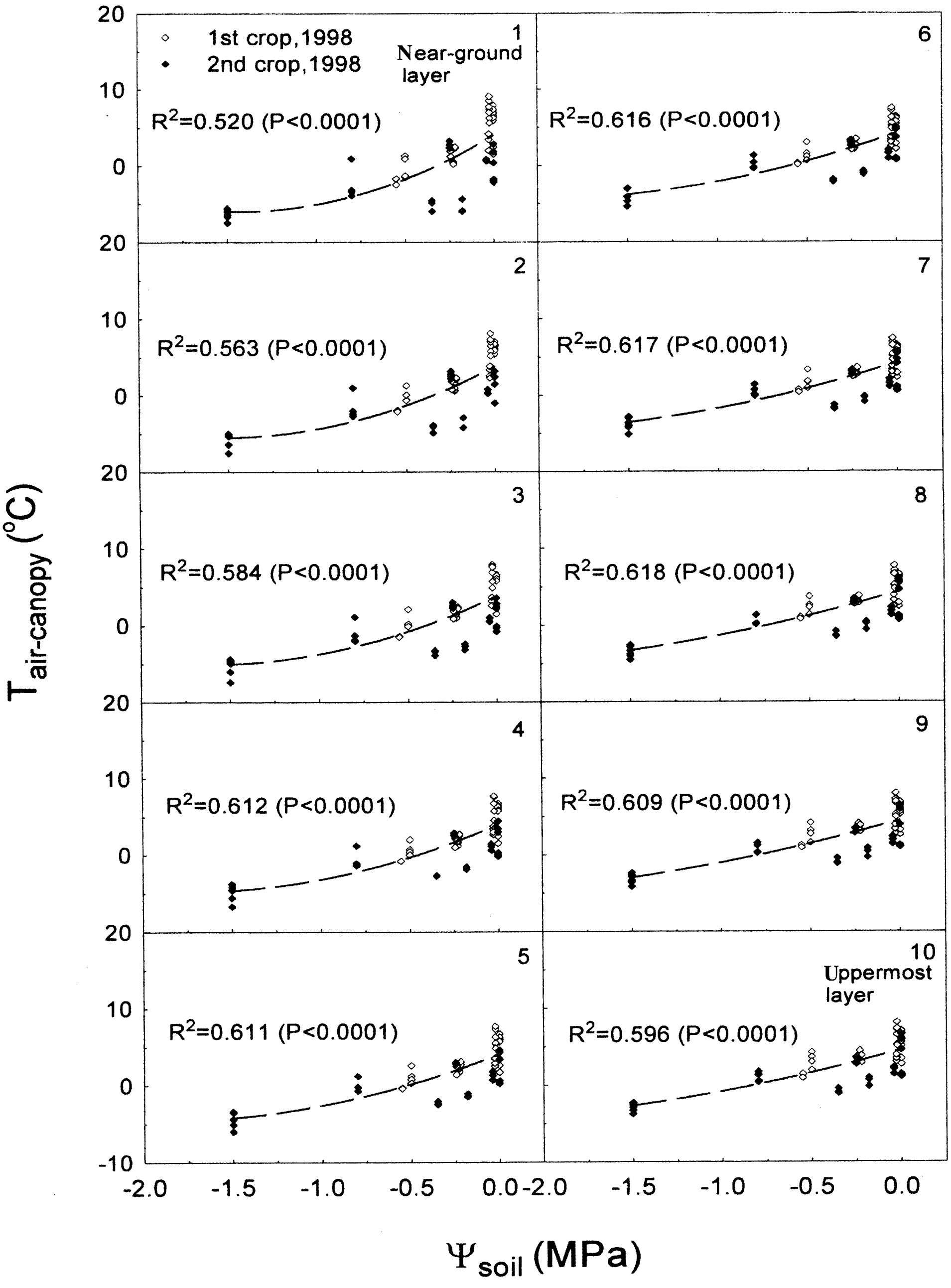

圖 4. 1998 年一、二期稻作之田間試驗水稻(*Oryza sativa* L. cv. TNG 67)植被垂直剖面不同高度層之平均輻射溫度與氣溫之溫差隨土壤水分潛勢之變化。

Figure 4. Changes of temperature differences between air temperature and mean radiant temperatures calculated from different canopy vertical layers in response to soil water potential for rice plants (*Oryza sativa* L. cv. TNG 67) grown in the first and the second cropping seasons of 1998.

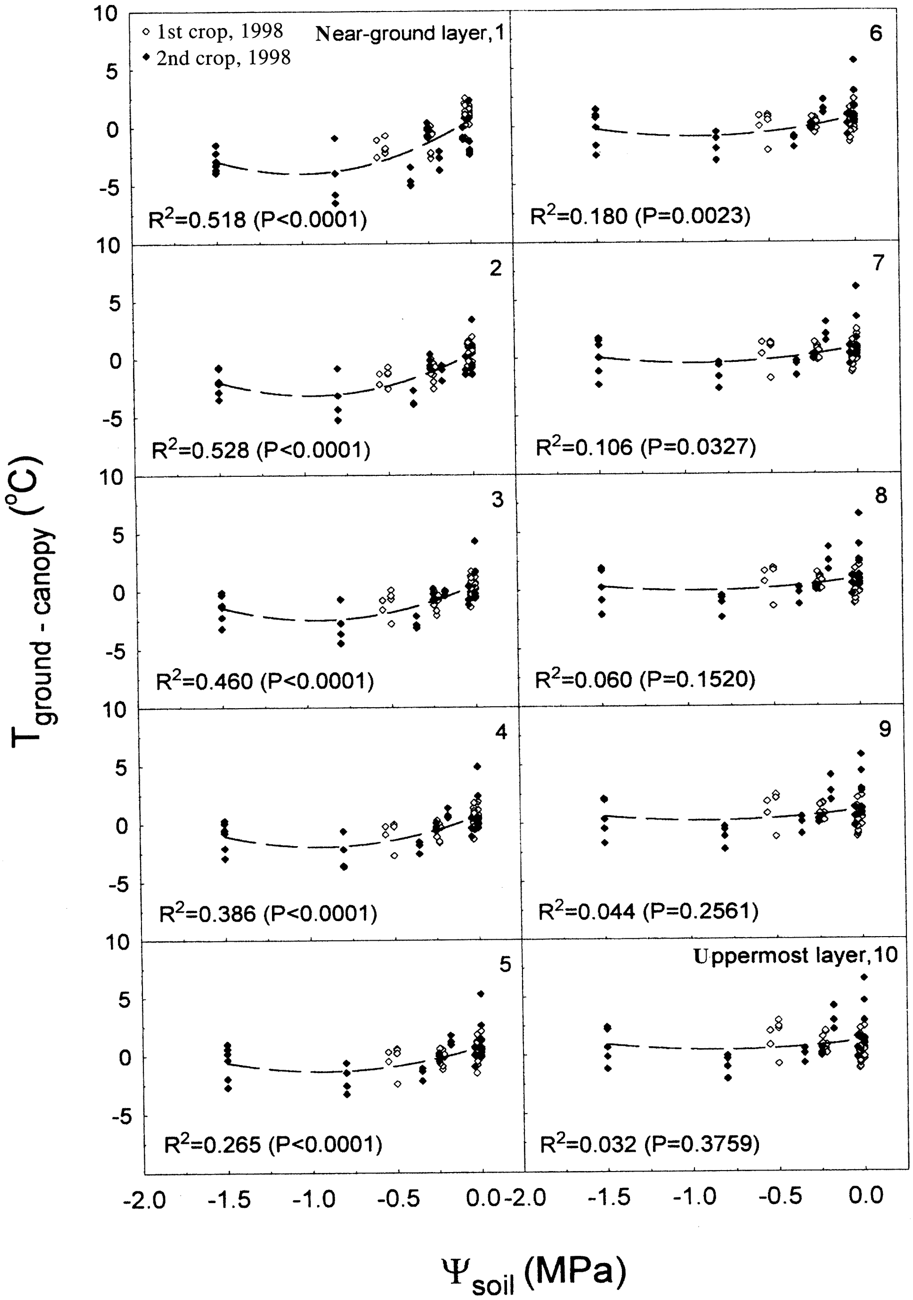

圖 5. 1998 年一、二期稻作之田間試驗水稻(*Oryza sativa* L. cv. TNG 67)植被垂直剖面不同高度層之平均輻射溫度與地溫之溫差隨土壤水分潛勢之變化。

Figure 5. Changes of temperature differences between ground temperature and mean radiant temperatures calculated from different canopy vertical layers in response to soil water potential for rice plants (*Oryza sativa* L. cv. TNG 67) grown in the first and the second cropping seasons of 1998.

討　論

本研究分析 1998 年一、二期稻作田間試驗之水稻族群植被垂直剖面熱紅外線輻射溫度，首先探討土壤缺水處理造成之土壤水分潛勢下降對植被垂直剖面輻射溫度之影響。經比較處於不等土壤水分潛勢之植被平均輻射溫度，發現水稻植被垂直剖面之平均輻射溫度隨著土壤水分潛勢的下降而升高(如圖 1)，顯示缺水將提高水稻植被溫度的結果，且一、二期作表現皆然，佐證缺水降低作物植體蒸散流量導致植體溫度上升的論證(Tanner 1963; Inoue 1990)。除了水分，凡能影響農作物蒸散作用的氣象因子，如日射量、氣溫、風速、濕度等，均會影響蒸散進行而改變作物植被溫度。由之亦可看出，在相同土壤水分潛勢等級，環境的變化將引起植被溫度的變異，變異幅度可能高達 28%之多。這種針對作物植被輻射溫度變化與土壤水分狀態關係的偵測，使得紅外線測溫技術可被利用於農作物灌溉系統的管理與追蹤(Millard *et al.* 1978)。

其次，就水稻植被垂直剖面溫度的改變上，發現無論何種植被垂直高度層之輻射溫度，皆受到土壤缺水的影響而使得溫度升高，且缺水增溫的效果有愈近地表愈高的現象(如圖 2)，在兩期作的表現類似。經繼續分析各調查日期的資料，當土壤水分潛勢高於-0.04 MPa 時，水稻植被垂直剖面不同高度層間之輻射溫度幾無顯著差異(如圖 3A 及 3B)。當土壤水分潛勢低於此值時，將同時提高各不同高度植被層的溫度，而愈近地面之垂直植被層之輻射溫度愈高。顯示土壤缺水有降低作物植體蒸散流量的效應，減少了植被垂直剖面各高度層溫度的發散，無法如正常水分狀態植株之降溫幅度，致使各層的溫度均上升。而當缺水使得植被溫度高達某一程度，作物為減少水分逸失將關閉氣孔，此舉將限制蒸散與光合作用的進行，而關閉氣孔及降低蒸散則又反饋造成植被溫度的上升(Inoue 1990)。其他文獻報告亦指出，處於限制水量供應的作物葉片溫度高於充分水量供應者(Ehrler 1973; Gates 1969; Pinter Jr. *et al.* 1979; Tanner 1963; Wiegand & Namken 1966)，在長期缺水下更將使產量降低(Idso *et al.* 1977; Ehrler *et al.* 1978)。

又在本試驗之正常水分狀態下，兩期作水稻植被溫度通常低於週遭氣溫，使得氣溫與植被溫度間維持正值溫差(如圖 4)。顯見常態下氣溫與植被溫度具有連動關係，農作物能夠調節大量的蒸散流量，維持植被表面的能量平衡而保持植被溫度的穩定，若無此一蒸散降溫機制，植被溫度將高於現行觀測溫度(Gates 1964)。惟當作物生長於高溫強光照環境時，白天植體溫度仍有可能高於氣溫(Tanner 1963)。此外根據圖 4 資料，當土壤水分潛勢(Ψsoil)下降至約-0.25 MPa 時，近地面植被層輻射溫度將大於氣溫，而當 Ψsoil 下降至約-0.75 MPa 時，最上表層植被輻射溫度將大於氣溫。此一現象反應出臨近大氣的植被最上層具有最高的蒸散降溫效果，符合理論邏輯，因為流動的空氣快速帶走上層植被輻射溫度，而近地面的植被層由於蒸散時間落差及遲滯的氣流使其溫度較高於上層植被溫度。當土壤缺水減少蒸散流量促使蒸散熱交換減低時，將造成植被溫度升高(Tanner 1963)，氣溫與植被溫度間之溫差將轉為負值，並隨著土壤缺水程度的增加而加大負值溫差。所以，缺水將改變氣溫與植被溫度間之互動，使得溫差關係由正轉負。Pinter Jr. *et al.* (1979)亦發現受到真菌感染的甜菜及棉花葉片，其中午時分量測之葉片輻射溫度高於相鄰未顯示感染徵狀植株之葉片溫度。

水稻植被溫度與地溫的關係近似於前項，除非氣溫過高(約大於 35°C)，正常水分狀態下植被溫度多低於地表溫度，尤其最上層臨近大氣者(如圖 5)。然而約在 Ψsoil 低於-0.20 MPa 時，近地面植被層之輻射溫度將高於地溫，在 Ψsoil 低於-1.50 MPa 時，最上植被層溫度則將高於地溫。顯示在晴朗天氣的白天地溫多高於氣溫，愈接近地表的植被層受到地溫的影響愈大，因此在較高的土壤水分潛勢下即造成地溫與植被溫度間的溫差轉為負值。

雖然植株不同部位或垂直或以不等角度面向入射光源，產生植被垂直剖面不均勻的光學特性，綜合本研究結果，仍顯示紅外線熱像技術可利用於探討農作物植被的垂直剖面溫度變化，藉由輻射溫度

的升降解釋氣溫及地溫的作用，並反應出土壤缺水導致減弱蒸散降溫的效果。同時經由垂直剖面不同高度層溫度的差異，可使吾人瞭解微氣象因子及環境改變對農作物植被垂直剖面溫度的效應，土壤缺水引起植被溫度上升的結果，以及蒸散作用在降低植體溫度上的功能。然而，若欲精準定量農作物植被的輻射溫度，則必須詳細測量植體各部位的放射率(emissivity)，同步追蹤氣溫、背景溫度及地溫的實際升降，才能精確估算實質植被溫度測值。而如果能夠同時取得植被溫度及吸收的入射輻射能，則可據以演算植被蒸散速率。

誌 謝

本文研究承蒙行政院農業委員會計畫經費(87 科技-1.1-糧-09(3)及 91 農科-1.3.2-農-C1)補助，特以致謝。紅外線熱像資料分析由賴小麗小姐協助參與，一併致上衷心謝忱。

引用文獻

蘇慕容、楊純明。1998。熱紅外線輻射影像檢測水稻生育期植冠溫度之變化。中華農藝 8:29-38。

Anonymous 1995. ThermaGRAM 95 Infrared Image Processing Software Manual. Thermoteknix Systems Ltd., Cambridge, England. 126 pp.

Ehrler, W. L. 1973. Cotton leaf temperatures as related to soil water depletion and meteorological factors. Agron. J. 65:404-409.

Ehrler, W. L., S.B. Idso, R.D. Jackson and R.J. Reginato. 1978. Diurnal changes in plant water potential and canopy temperature of wheat as affected by drought. Agron. J. 70:999-1004.

Gates, D. M. 1964. Leaf temperature and transpiration. Agron. J. 273-277.

Gates, D. M. 1969. Transpiration and leaf temperature. Annu. Rev. Plant Physiol. 19:211-238.

Idso, S. B., R. D. Jackson and R.J. Reginato. 1977. Remote-sensing of crop yields. Science 196:19-25.

Idso, S. B., R. D. Jackson, Pinter Jr., P. J., R. J. Reginato and J.L. Hafield. 1981. Normalizing the stress-degree-day parameter for environmental variability. Agric. Meteorol. 24:45-55.

Inoue, Y. 1986. Remote-monitoring of the physiological and ecological status of crops. I. Analysis of thermal image of crop canopy. Jpn. J. Crop Sci. 55:261-268.

Inoue, Y. 1990. Remote detection of physiological depression in crop plants with infrared thermal imagery. Jpn. J. Crop Sci. 59:762-768.

Jackson, R. D., S. B. Idso, R. J. Reginato and R. J. Pinter, Jr., 1981. Canopy temperature as a crop water stress indicator. Water Resour. Res. 17:1133-1138.

Meyer, W. S., D. Reicosky and N. L. Schaeffer. 1985. Errors in field measurement of leaf diffusive conductance associated with leaf temperature. Agric. For. Meteorol. 36:55-64.

Millard, J. P., R. D. Jackson, R. C. Goettelman, R. J. Reginato and S. B. Idso. 1978. Crop water-stress assessment using an airborne thermal scanner. Photogram. Eng. Remote Sens. 44:77-85.

O'Toole, J. C., N. C. Turner, O. P. Namuco, M. Dingkuhn and K. A. Gomez. 1984. Comparison of some crop water stress measurement methods. Crop Sci. 24:1121-1128.

Pinter Jr., P. J., M. E. Stanghellini, R. J. Reginato, A. D. Jenkins and R. D. Jackson. 1979. Remote detection of biological stresses in plants with infrared thermometry. Science 205:585-587.

Tanner, C. B. 1963. Plant temperatures. Agron. J. 55:210-211.

Wiegand, C. L. and L. N. Namken. 1966. Influences of plant moisture stress, solar radiation, and air temperature on cotton leaf temperature. Agron. J. 58:582;586.

Yang, C. M. 1998. Seasonal changes in radiometric temperature of rice vegetation cover. Chinese Agron. J. 8:193-201.

Yang. C. M., H. L. Lai, Y. M. Shy and R. H. Buu. 2000. Monitoring seasonal changes in canopy temperature of *Digitaria decumbens* Stent. By thermal infrared remote sensing. J. Photogram. Remote Sens. 5(1):55-72.

Remote Detection of Changes in Vertical Canopy Radiant Temperature for Rice (TNG 67) Plants Subjected to Water Deficits with Infrared Thermal Imagery[1]

Chwen-Ming Yang[2,3]

Summary

Yang, C. M. 2003. Remote detection of changes in vertical canopy radiant temperatures for rice (TNG 67) plants subjected to water deficits with infrared thermal imagery. J. Agric. Res. China 52:153-165.

This study was to analyze the 2-dimensional infrared thermal images of rice canopy vertical profile taken from rice plants (*Oryza sativa* L. cv. TNG 67) grown under soil water deficits in the first and the second crops of 1998. Changes of canopy radiant temperatures at 10 different vertical layers in response to soil water potential compared to air and ground radiant temperatures were also investigated. It showed that canopy temperature was affected by environmental conditions and was elevated by soil water deficiency in both crops. Radiant temperatures measured from 10 different layers of canopy vertical profile were all increased with increasing stress magnitude, especially temperature of near-ground layer. Generally canopy temperature was lower than ambient air temperature and ground temperature under well-watered condition yet may surpass them at certain stress levels. Temperature of the near-ground layer would be higher than air temperature when soil water potential (Ψsoil) dropped to -0.25 MPa. When Ψsoil decreased to -0.75 MPa, temperature of the uppermost layer would be greater than air temperature. Near-ground layer temperature surpassed ground temperature at Ψsoil below -0.20 MPa, and uppermost layer temperature would larger than ground temperature at Ψsoil below -1.50 MPa. When Ψsoil was higher than -0.04 MPa, no significant temperature difference was found between layers of vertical profile. When Ψsoil was reduced to less than -0.04 MPa, layer temperature was increased vertically toward the ground. The trend was similar in both crops.

Key words: Remote detection, Rice vertical canopy profile, Radiant temperature, Water deficits, Infrared thermal imagery.

1. Contribution No.2159 from Agricultural Research Institute, Council of Agriculture. Accepted : April 24, 2003.
2. Research Fellow/Senior Agronomist, Agronomy Division, ARI, Wufeng, Taichung Taiwan, ROC.
3. Correponding author, e-mail: cmyang@wufeng.tari.gov.tw ; Fax: (04)23396057.